



**SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
CONFÉDÉRATION SUISSE
CONFEDERAZIONE SVIZZERA**

Bescheinigung

Die beiliegenden Akten stimmen mit den ursprünglichen technischen Unterlagen des auf der nächsten Seite bezeichneten Patentgesuches für die Schweiz und Liechtenstein überein. Die Schweiz und das Fürstentum Liechtenstein bilden ein einheitliches Schutzgebiet. Der Schutz kann deshalb nur für beide Länder gemeinsam beantragt werden.

Attestation

Les documents ci-joints sont conformes aux pièces techniques originales de la demande de brevet pour la Suisse et le Liechtenstein spécifiée à la page suivante. La Suisse et la Principauté de Liechtenstein constituent un territoire unitaire de protection. La protection ne peut donc être revendiquée que pour l'ensemble des deux Etats.

Attestazione

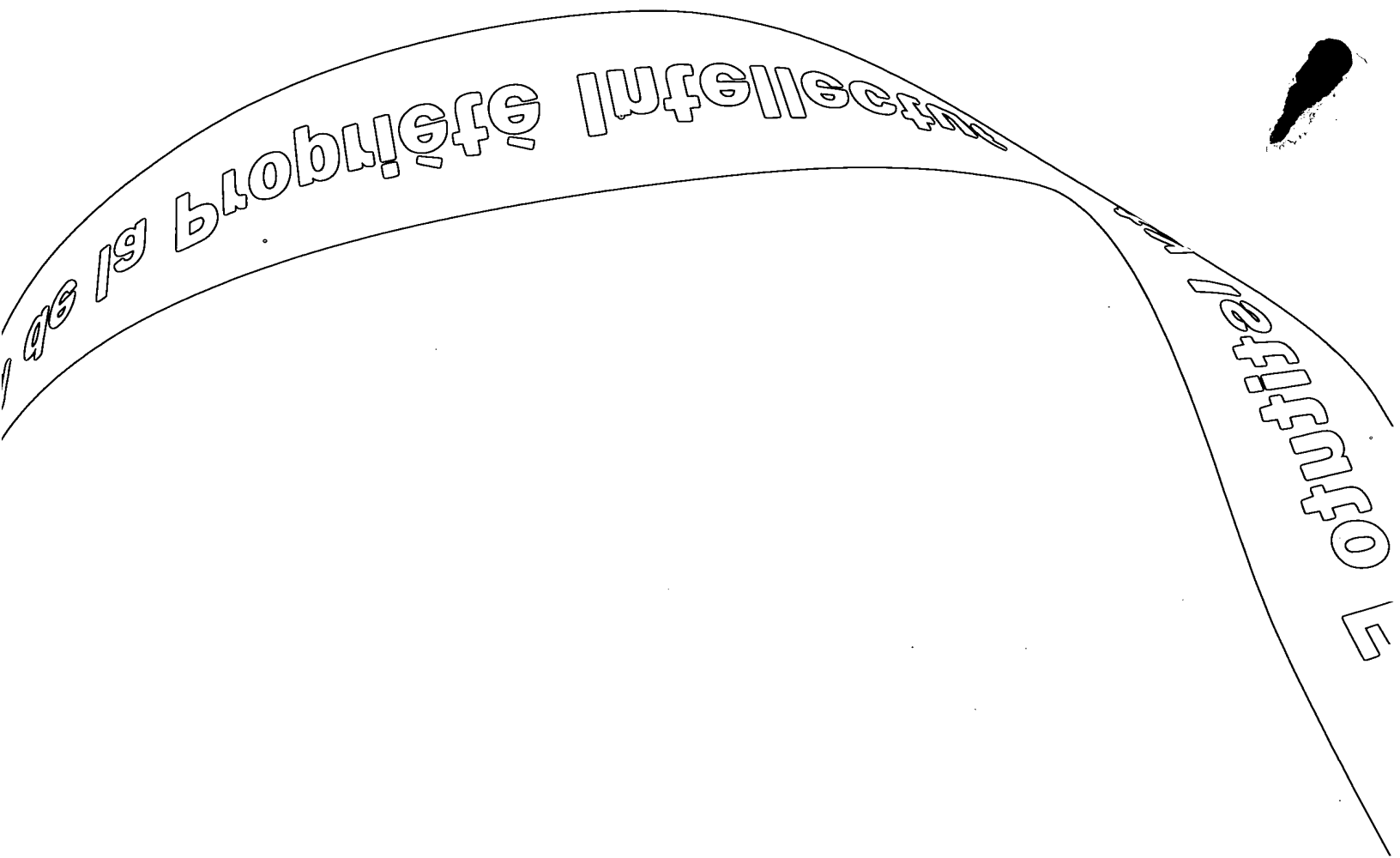
I documenti allegati sono conformi agli atti tecnici originali della domanda di brevetto per la Svizzera e il Liechtenstein specificata nella pagina seguente. La Svizzera e il Principato di Liechtenstein formano un unico territorio di protezione. La protezione può dunque essere rivendicata solamente per l'insieme dei due Stati.

Bern, 20. AUG. 2003

Geistiges Eigentum
Eidgenössisches Institut für Geistiges Eigentum
Institut Fédéral de la Propriété Intellectuelle
Istituto Federale della Proprietà Intellettuale

Patentverfahren
Administration des brevets
Amministrazione dei brevetti

H. Jenni
Heinz Jenni



1991 PROPIETÀ INTELLETTA

L'EFFETTO

Patentgesuch Nr. 2003 1086/03

HINTERLEGUNGSBESCHEINIGUNG (Art. 46 Abs. 5 PatV)

Das Eidgenössische Institut für Geistiges Eigentum bescheinigt den Eingang des unten näher bezeichneten schweizerischen Patentgesuches.

Titel:

Verfahren für die Bestimmung optimaler Bondparameter beim Bonden mit einem Wire Bonder.

Patentbewerber:

ESEC Trading SA

Hinterbergstr. 32, Postfach 5503

6330 Cham

Vertreter:

Dr. Urs Falk, Patentanwaltsbüro Dr. Urs Falk

Eichholzweg 9A

6312 Steinhausen

Anmeldedatum: 18.06.2003

Prioritäten:

CH 1739/02 16.10.2002

Voraussichtliche Klassen: G01N, H01L



Verfahren für die Bestimmung optimaler Bondparameter beim Bonden mit einem Wire Bonder

Die Erfindung betrifft ein Verfahren für die Bestimmung optimaler Bondparameter beim Bonden mit einem Wire Bonder der im Oberbegriff des Anspruchs 1 genannten Art.

Ein Wire Bonder ist eine Maschine, mit der Halbleiterchips nach deren Montage auf einem Substrat verdrahtet werden. Der Wire Bonder weist eine Kapillare auf, die an der Spitze eines Horns eingespannt ist. Die Kapillare dient zum Befestigen des Drahts auf einem Anschlusspunkt des Halbleiterchips und auf einem Anschlusspunkt des Substrats sowie zur Drahtführung zwischen den beiden Anschlusspunkten. Bei der Herstellung der Drahtverbindung zwischen dem Anschlusspunkt des Halbleiterchips und dem Anschlusspunkt des Substrats wird das aus der Kapillare ragende Drahtende zunächst zu einer Kugel geschmolzen. Anschliessend wird die Drahtkugel auf dem Anschlusspunkt des Halbleiterchips mittels Druck und Ultraschall befestigt. Dabei wird das Horn von einem Ultraschallgeber mit Ultraschall beaufschlagt. Diesen Prozess nennt man Ball-bonden. Dann wird der Draht auf die benötigte Drahtlänge durchgezogen, zu einer Drahtbrücke geformt und auf dem Anschlusspunkt des Substrats verschweisst. Diesen letzten Prozessteil nennt man Wedge-bonden. Nach dem Befestigen des Drahts auf dem Anschlusspunkt des Substrats wird der Draht abgerissen und der nächste Bondzyklus kann beginnen.

Das Ball-bonden wie auch das Wedge-bonden werden von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Um Bondverbindungen von vorbestimmter Qualität zu erzielen, müssen für einen bestimmten Prozess die passenden Werte mehrerer physikalischer und/oder technischer Parameter eruiert werden. Beispiele solcher Parameter sind:

- die Bondkraft, das ist die Normalkraft, die die Kapillare während des Bondvorgangs auf die Bondkugel bzw. den Anschlusspunkt des Halbleiterchips ausübt,
- ein hierin als Ultraschallgrösse P bezeichneter Parameter, der die Beaufschlagung des Ultraschallgebers mit Ultraschall steuert. Die Ultraschallgrösse ist z.B. die Amplitude des Wechselstroms, der durch den Ultraschallgeber des Horns fliesst, oder die Amplitude der Wechselspannung, die an den Ultraschallgeber angelegt wird, oder die Leistung oder eine andere Grösse,
- eine hierin als Ultraschallzeit T bezeichnete Zeitdauer, die angibt, wie lange der Ultraschallgeber mit der Ultraschallgrösse P beaufschlagt wird,
- die Auftreffgeschwindigkeit der Kapillare auf den Anschlusspunkt,
- ein binärer Parameter, der angibt, ob der Ultraschallgeber bereits vor dem Auftreffen der Kapillare auf dem Anschlusspunkt mit der Ultraschallgrösse beaufschlagt wird.

Für die Bestimmung der Bondqualität im Sinne einer Qualitätskontrolle wie auch für die Ermittlung optimaler Bondparameter werden heutzutage vor allem zwei Methoden verwendet, nämlich

- a) ein sogenannter Pull-Test, bei dem die Kraft gemessen wird, bei der der Bond vom Halbleiterchip bzw. vom Substrat abreisst, wenn der Bond in senkrechter Richtung zur Oberfläche des Halbleiterchips bzw. Substrats gezogen wird, und

b) ein sogenannter Shear-Test, bei dem die Kraft gemessen wird, bei der der Bond vom Halbleiterchip bzw. vom Substrat abreißt, wenn der Bond mittels eines Werkzeugs parallel zur Oberfläche des Halbleiterchips bzw. Substrats weggedrückt wird.

Die Anwender bevorzugen im allgemeinen für Ball Bonds den Shear-Test, da seine Resultate zuverlässiger sind als die Resultate des Pull-Tests.

Diese Tests werden normalerweise mit speziell für diese Anwendung entwickelten Geräten durchgeführt. Aus dem Patent US 5 894 981 ist jedoch ein Wire Bonder bekannt, der für die Durchführung eines Pull-Tests eingerichtet ist. Der Pull-Test lässt sich bei diesem Wire Bonder allerdings nur für Wedge Bonds durchführen. Aus dem Patent US 5 591 920 ist ein Wire Bonder bekannt, der für die Durchführung eines Pull-Tests eingerichtet ist, bei dem der maximale Strom gemessen wird, der durch einen die Kapillare auf- und absenkenden Motor fließt. Dieser Test lässt sich sowohl für Ball Bonds als auch für Wedge Bonds durchführen. Wenn dieser Pull-Test bei einem Wedge Bond durchgeführt wird, dann besteht ein wichtiger Nachteil darin, dass beim Testen nicht wie beim etablierten Pull-Test die Drahtbrücke belastet wird, sondern dass das im letzten Schritt des Bondzyklus abzureißende Drahtstück, der sogenannte tail, belastet wird. Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren für die einfache Bestimmung optimaler Bondparameter sowohl für das Ball-bonden wie für das Wedge-bonden zu entwickeln.

Die Erfindung besteht in den in den Ansprüchen 1 und 2 angegebenen Merkmalen.

Optimale Bondparameter für eine Bondkraft F_B und eine Ultraschallgröße P_B und, fakultativ, mindestens einen weiteren Bondparameter G_B eines Wire Bonders für das Ball-bonden lassen sich erfindungsgemäss ermitteln mittels eines Verfahrens mit den folgenden Schritten:

Durchführen einer Anzahl Bondzyklen von $n = 1$ bis k , wobei die Bondkraft F_B und die Ultraschallgröße P_B und, gegebenenfalls, der mindestens eine weitere Bondparameter G_B in je einem vorbestimmten Bereich in diskreten Schritten variiert werden, wobei bei jedem Bondzyklus eine Drahtverbindung zwischen einem Anschlusspunkt eines Halbleiterchips und einem Anschlusspunkt eines Substrats hergestellt wird, indem ein aus einer Kapillare ragendes Drahtende zu einer Kugel geschmolzen und anschliessend die Drahtkugel in einer ersten Bondposition auf dem Anschlusspunkt des Halbleiterchips befestigt wird, dann der Draht auf die benötigte Drahtlänge durchgezogen, zu einer Drahtbrücke geformt und in einer zweiten Bondposition auf dem Anschlusspunkt des Substrats befestigt wird, und wobei die Bondkraft F_B , die Ultraschallgröße P_B und, gegebenenfalls, der mindestens eine weitere Bondparameter G_B in je einem vorbestimmten Bereich in diskreten Schritten variiert werden, und wobei bei jedem Bondzyklus n nach der Befestigung der Drahtkugel auf dem Anschlusspunkt des Halbleiterchips folgende Schritte durchgeführt werden:

- a) Anlegen einer vorbestimmten Bondkraft F_{B1} ,
- b) Bewegen der Kapillare aus der Bondposition in eine vorbestimmte horizontale Richtung, wobei der durch den die Kapillare bewegenden Antrieb fließende Strom $I_{B,n}$ überwacht wird,

- c) Stoppen der Bewegung der Kapillare, sobald der Strom $I_{B,n}$ abnimmt,
 - d) Bestimmen des Maximums des Stromes $I_{B,n,max}$ ($F_{B,n}$, $P_{B,n}$, $G_{B,n}$) aus dem während der Schritte b) und c) ermittelten Verlauf des Stromes $I_{B,n}$ ($F_{B,n}$, $P_{B,n}$, $G_{B,n}$, t), wobei die Grössen $F_{B,n}$, $P_{B,n}$ und $G_{B,n}$ die beim Bondzyklus n eingestellten Werte der Bondkraft F_B , der Ultraschallgrösse P_B und, gegebenenfalls, des mindestens einen weiteren Bondparameters G_B sind, und mit dem Parameter t die Zeit bezeichnet ist,
 - e) Bewegen der Kapillare an die Bondposition,
 - f) Befestigen der Drahtkugel auf dem Anschlusspunkt des Halbleiterchips,
- und wobei aus den bei den n Bondzyklen ermittelten Werten $I_{B,n,max}$ ($F_{B,n}$, $P_{B,n}$, $G_{B,n}$) diejenigen Werte der Bondkraft F_B , der Ultraschallgrösse P_B und des gegebenenfalls mindestens einen weiteren Bondparameters G_B als optimale Bondparameter bestimmt werden, für die der Strom $I_{B,n,max}$ ($F_{B,n}$, $P_{B,n}$, $G_{B,n}$) ein Maximum erreicht. Bei dieser Bestimmung können allenfalls übliche Methoden der Statistik wie beispielsweise Interpolation angewendet werden.

Die Bondkraft F_{B1} ist bei allen Schertests die gleiche. Sie wird in der Regel so klein wie möglich eingestellt, damit das Resultat des Schertests nicht durch Reibungskräfte verfälscht wird, die zwischen der Unterseite des Balls und dem Anschlusspunkt wirken. Typischerweise beträgt die Bondkraft F_{B1} etwa 50mN.

Die Schritte e und f können allenfalls entfallen, da sie nur dazu dienen, eine Störung der nachfolgenden Bondzyklen zu vermeiden.

Optimale Bondparameter für die Bondkraft F_W , die Ultraschallgrösse P_W und, fakultativ, den mindestens einen weiteren Bondparameter G_W eines Wire Bonders für das Wedge-bonden lassen sich ermitteln mittels eines analogen Verfahrens, das für jeden Bondzyklus andere Werte der Parameter F_W , P_W und, gegebenenfalls G_W vorsieht und bei dem bei jedem Bondzyklus n nach der Befestigung des Drahts auf dem Anschlusspunkt des Substrats folgende Schritte durchgeführt werden:

- a) Anlegen einer vorbestimmten Bondkraft F_{W1} ,
- b) Bewegen der Kapillare aus der Bondposition in eine vorbestimmte horizontale Richtung, wobei der durch den die Kapillare bewegendenden Antrieb fliessende Strom $I_{W,n}$ überwacht wird,
- c) Stoppen der Bewegung der Kapillare, sobald der Strom $I_{W,n}$ abnimmt,
- d) Bestimmen des Maximums des Stromes $I_{W,n,max}$ ($F_{W,n}$, $P_{W,n}$, $G_{W,n}$) aus dem während der Schritte b) und c) ermittelten Verlauf des Stromes $I_{W,n}$ ($F_{W,n}$, $P_{W,n}$, $G_{W,n}$, t), wobei die Grössen $F_{W,n}$, $P_{W,n}$ und $G_{W,n}$ die beim Bondzyklus n eingestellten Werte der Bondkraft F_W , der Ultraschallgrösse P_W und, gegebenenfalls, des mindestens einen weiteren Bondparameters G_W sind,
- e) Bewegen der Kapillare an die Bondposition,
- f) Befestigen des Drahts auf dem Anschlusspunkt des Substrats,

und bei dem aus den bei den n Bondzyklen ermittelten Werten $I_{W,n,max}$ ($F_{W,n}$, $P_{W,n}$, $G_{W,n}$) diejenigen Werte der Bondkraft F_W , der Ultraschallgrösse P_W und des gegebenenfalls mindestens einen weiteren Bondparameters G_W als optimale Bondparameter bestimmt werden, für die der Strom $I_{W,n,max}$ ($F_{W,n}$, $P_{W,n}$, $G_{W,n}$) ein Maximum erreicht.

Die Bondkraft F_{W1} ist bei allen Schertests die gleiche und wird in der Regel so klein wie möglich eingestellt.

Bei diesem Verfahren wird mit dem Strom $I_{B,n,max}$ bei jedem Bondzyklus ein Wert ermittelt, der proportional zur Schubfliess-Spannung und somit ein Mass für die Scherfestigkeit des Ball-Bonds auf dem Halbleiterchip ist und mit dem Strom $I_{W,n,max}$ ein Wert, der ein Mass für die Scherfestigkeit des Wedge-Bonds auf dem Substrat ist.

Es sei hier angemerkt, dass die Zahl der Bondparameter, die variiert werden, beim Ball-Bonden und beim Wedge-Bonden verschieden sein können.

Des Weiteren sei hier angemerkt, dass sich das erfindungsgemässe Verfahren für die Implementierung auf Wire Bondern unterschiedlicher Konstruktion eignet. Es gibt Wire Bonder, die einen Antrieb für die Bewegung des Horns mit der Kapillare in einer x -Richtung und einen Antrieb für die Bewegung in einer zur x -Richtung orthogonalen y -Richtung aufweisen. Aus der europäischen Patentanmeldung EP 1098356 ist ein Wire Bonder bekannt mit einem Antrieb für die Bewegung des Horns und der Kapillare in einer vorbestimmten Richtung und einem zweiten Antrieb für eine Drehbewegung des Horns und der Kapillare um eine Drehachse.

Die Erfindung lässt sich wie beschrieben für die Ermittlung optimaler Bondparameter benutzen. Die optimalen Bondparameter F_1 , P_1 , G_1 der Bondkraft F , der Ultraschallgrösse P und weiteren Bondparametern G werden ermittelt, bevor der Produktionsbetrieb aufgenommen wird. (Da die Anzahl der weiteren Bondparameter G in der Regel grösser als 1 ist, steht die Bezeichnung G_1 für eine entsprechende Anzahl von Werten). Die Erfindung ermöglicht in modifizierter Form aber zusätzlich eine in situ Überwachung der Bondqualität im Produktionsbetrieb. Dabei werden ausgewählte Bondverbindungen unmittelbar nach ihrer Herstellung bezüglich ihrer Scherfestigkeit geprüft, indem die Kapillare benutzt wird, um die Bondverbindung abzuscheren, wobei das Maximum des durch den Antrieb der Kapillare fliessenden Stroms ermittelt wird. Anschliessend wird ein zweiter Bondvorgang durchgeführt, um den beim Test abgetrennten Ball bzw. Wedge wieder auf dem Anschlusspunkt zu befestigen. Beim Bonden werden der geformte Ball bzw. Wedge verformt, insbesondere flach gedrückt. Wenn die Bondverbindung hergestellt, abgetrennt und nochmals hergestellt wird, dann ist der resultierende Ball bzw. Wedge zu flach und es besteht ein Risiko, dass diese getestete Bondverbindung die geforderte Bondqualität nicht mehr erreicht. Aus diesem Grund werden bei der Herstellung der ersten Bondverbindung Bondparameter benutzt, die eine schwächere Bondverbindung ergeben und die den Ball

bzw. Wedge weniger stark verformen. Die Herstellung, Abscherung und erneute Herstellung der Bondverbindung erfolgt daher gemäss den folgenden Verfahrensschritten:

- Herstellung einer Bondverbindung auf einem Anschlusspunkt mit vorgegebenen Werten F_2 , P_2 , G_2 der Bondkraft F , der Ultraschallgrösse P und weiteren Bondparametern G , wobei mindestens einer der Werte F_2 , P_2 , G_2 kleiner ist als der entsprechende Wert F_1 , P_1 , G_1 .
- Durchführung des Tests zur Qualitätskontrolle gemäss den folgenden Schritten:
 - a) Anlegen einer vorbestimmten Bondkraft F_3 ,
 - b) Bewegen der Kapillare aus der Bondposition in einer vorbestimmten Richtung, wobei der durch den die Kapillare bewegendes Antrieb fliessende Strom $I_n(t)$ im Verlauf der Zeit t überwacht wird,
 - c) Stoppen der Bewegung der Kapillare, sobald der Strom $I(t)$ abnimmt,
 - d) Bestimmen des Maximums des Stroms I_{\max} aus dem während der Schritte b) und c) ermittelten Verlauf des Stroms $I(t)$;
 und
- Herstellung der Bondverbindung auf dem Anschlusspunkt mit den Werten F_1 , P_1 , G_1 .

Die Erfindung macht davon Gebrauch, dass das Maximum des Stroms I_{\max} , das für eine mit den Bondparametern F_2 , P_2 , G_2 hergestellte Bondverbindung ermittelt wurde, stark korreliert ist mit dem Maximum des Stroms I_{\max} , das für eine mit den Bondparametern F_1 , P_1 und gegebenenfalls G_1 hergestellte Bondverbindung ermittelt wurde. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn $F_2 = F_1$, $G_2 = G_1$ und $P_2 = \alpha * P_1$, wobei der Parameter $\alpha < 1$ ist. Der Parameter α liegt typischerweise im Bereich $0.4 < \alpha < 0.7$. Die erste Bondverbindung wird beispielsweise hergestellt mit den Parametern $F_2 = F_1$, $G_2 = G_1$ und $P_2 = 0.5 * P_1$. Damit die Beurteilung der Bondqualität möglich ist, muss natürlich vor der Aufnahme des Produktionsbetriebs bestimmt werden, welchen Wert der Strom I_{\max} nicht unterschreiten darf. Die Einrichtung eines neuen Prozesses erfolgt also so, dass zunächst sowohl für die Ballverbindung als auch für die Wedgeverbindung optimale Bondparameter F_1 , P_1 , G_1 ermittelt werden gemäss dem oben beschriebenen Verfahren (wobei die Zahl der Bondparameter G_1 0 bis n sein kann), dass dann Bondparameter F_2 , P_2 , G_2 ausgewählt werden und ein zugehöriger minimaler Wert $I_{\max,0}$ ermittelt wird, den der Strom I_{\max} für eine mit den Bondparametern F_2 , P_2 , G_2 hergestellte Bondverbindung nicht unterschreiten soll.

Im Produktionsbetrieb kann nun die Bondqualität überwacht werden, indem die Bondverbindungen in spezifizierten Intervallen oder beim Eintritt vorbestimmter Ereignisse gemäss dem erfindungsgemässen Verfahren getestet werden. Die ermittelten Testwerte I_{\max} werden in einer Datenbank gespeichert, so dass sie jederzeit analysiert werden können. Vorteilhafterweise wird die Produktion gestoppt und ein Alarm ausgelöst, wenn ein oder mehrere Testwerte I_{\max} kleiner sind als der minimaler Wert $I_{\max,0}$.

Die Prozesskontrolle kann auch dahingehend erweitert werden, dass der Wire Bonder die Bondparameter F_1 , P_1 , G_1 selbsttätig modifiziert, wenn ein oder mehrere Testwerte I_{\max} kleiner sind als der minimale Wert $I_{\max,0}$.

Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert.

Es zeigen: Fig. 1A bis 1E verschiedene Phasen eines einfachen Bondzyklus,
 Fig. 2A bis 2D verschiedene Momentaufnahmen während der Bestimmung der Scherfestigkeit eines Ball-Bonds, und
 Fig. 3A bis 3D verschiedene Momentaufnahmen während der Bestimmung der Scherfestigkeit eines Wedge-Bonds.

Die Fig. 1A bis 1E zeigen die verschiedenen Phasen eines einfachen Bondzyklus:

- A) An der Spitze einer Kapillare 1 wird ein aus der Kapillare 1 herausragendes Ende eines Drahts 2 zu einer Drahtkugel 3 geformt (Fig. 1A).
- B) Die Drahtkugel 3 wird auf einen ersten Anschlusspunkt 4 eines Halbleiterchips 5 gebondet (Ball 6) (Fig. 1B).
- C) Die Kapillare 1 wird angehoben und der Draht 2 auf die benötigte Länge ausgezogen (Fig. 1C).
- D) Die Kapillare 1 fährt eine vorbestimmte Bahnkurve, wobei der Draht 2 zu einer Drahtbrücke 7 geformt wird.
- E) Der Draht 2 wird auf einen Anschlusspunkt 8 eines Substrats 9 gebondet (Wedge 10) (Fig. 1D).
- F) Die Kapillare 1 wird angehoben, wobei der Draht 2 beim Wedge-Bond 10 abreisst und ein kurzes Stück des Drahts 2 aus der Kapillare 1 herausragt (Fig. 1E), so dass anschliessend der nächste Bondzyklus durchgeführt werden kann.

Dieser Bondzyklus stellt nur eine einfache Variante dar, die für das Verständnis der vorliegenden Erfindung ausreicht. Aus der Fach- und Patentliteratur sind aber eine Vielzahl von Bondzyklen bekannt, bei denen die einzelnen Schritte, insbesondere die Schritte c) und d) weiter verfeinert worden sind. Das Substrat 9 kann selbst auch ein Halbleiterchip sein, beispielsweise in einem Multichip Modul.

Für die Bestimmung optimaler Bondparameter für die Bondkraft F , eine Ultraschallgrösse P und, fakultativ, mindestens einen weiteren Bondparameter G eines Wire Bonders für das Ball-bonden wie für das Wedge-Bonden werden eine Anzahl von $n = 1$ bis k Bondzyklen durchgeführt, wobei die Bondkraft F_B bzw. F_W , die Ultraschallgrösse P_B bzw. P_W und, gegebenenfalls, der mindestens eine weitere Bondparameter G_B bzw. G_W in je einem vorbestimmten Bereich in diskreten Schritten variiert werden. Bei jedem Bondzyklus n werden nach der Befestigung der Drahtkugel 3 auf dem Anschlusspunkt 4 des Halbleiterchips 5, d.h. nach dem Schritt B und vor dem Schritt C, folgende Schritte durchgeführt:

- B.a) Anlegen einer vorbestimmten Bondkraft F_{B1} ,

- B.b) Bewegen der Kapillare 1 aus der Bondposition in eine vorbestimmte horizontale Richtung, wobei der durch den die Kapillare 1 bewegendenden Antrieb fliessende Strom $I_{B,n}(t)$ überwacht wird (t bezeichnet die Zeit),
- B.c) Stoppen der Bewegung der Kapillare 1, sobald der Strom $I_{B,n}(t)$ abnimmt,
- B.d) Bestimmen des Maximums des Stromes $I_{B,n,max}$ ($F_{B,n}$, $P_{B,n}$, $G_{B,n}$) aus dem während der Schritte b) und c) ermittelten zeitlichen Verlauf des Stromes $I_{B,n}(t)$, wobei die Grössen $F_{B,n}$, $P_{B,n}$ und $G_{B,n}$ die beim Bondzyklus n eingestellten Werte der Bondkraft F_B , der Ultraschallgrösse P_B und, gegebenenfalls, des mindestens einen weiteren Bondparameters G_B sind,
- B.e) Bewegen der Kapillare 1 an die Bondposition,
- B.f) Befestigen der Drahtkugel 3 auf dem Anschlusspunkt 4 des Halbleiterchips 5.

Diese Schritte werden nun anhand der Fig. 2A bis 2D näher illustriert. Die Bondposition ist mit einer gestrichelten Linie 11 dargestellt, damit die Lage der Kapillare 1 zur Bondposition ersichtlich ist. Die Fig. 2A zeigt die Situation während des Schrittes B, wenn die Drahtkugel 3 auf den Anschlusspunkt 4 des Halbleiterchips 5 gebondet wird, wobei der Ball-Bond 6 entsteht. Das Bonden der Drahtkugel 3 erfolgt mit den Parametern: Bondkraft $F_{B,n}$, Ultraschall $P_{B,n}$ und gegebenenfalls, des mindestens einen weiteren Bondparameters $G_{B,n}$. Die Kapillare 1 befindet sich in der Bondposition über dem Anschlusspunkt 4.

Die Fig. 2B zeigt die Situation während des Schrittes B.b. Das nicht dargestellte Horn, an dessen Spitze die Kapillare 1 eingespannt ist, wird in einer horizontalen Richtung verschoben oder um eine vertikale Achse gedreht. Gleichzeitig wird der Strom I überwacht, der durch den Antrieb fliesst, der das Horn verschiebt bzw. dreht. Die Spitze der Kapillare 1 drückt dabei gegen den auf dem Anschlusspunkt 4 des Halbleiterchips 5 befestigten Ball. Der Ball und der Anschlusspunkt 4 können dabei leicht verformt werden, so dass die Kapillare 1 ein wenig aus der Bondposition wegbewegt wird. Der am Anschlusspunkt 4 haftende Ball hindert nun aber die Kapillare 1 und somit auch das Horn an der Ausführung der gewünschten Bewegung. Die von der Kapillare 1 auf den Ball in horizontaler Richtung ausgeübte Kraft nimmt kontinuierlich zu, bis sich der Ball schliesslich vom Anschlusspunkt 4 löst. Die Kapillare 1 kann nun der Bewegung des Horns folgen, so dass der durch den Antrieb fliessende Strom schnell abfällt, worauf die Bewegung der Kapillare 1 im Schritt B.c sofort gestoppt wird. Diese Situation ist in der Fig. 2C gezeigt. Die Kapillare 1 wird später im Schritt B.e in die Bondposition zurückgebracht und im Schritt B.f wird der Ball nochmals auf dem Anschlusspunkt 4 des Halbleiterchips 5 befestigt. Es werden nun zwei Methoden erläutert, wie der Schritt B.b durchgeführt werden kann:

Gemäss der ersten Methode wird der Wire Bonder angewiesen, die Spitze der Kapillare 1 aus ihrer Bondposition in eine neue Position zu verschieben. Dies erfolgt mittels eines Reglers, der eine Positionsabweichung in einen Befehl für den durch den entsprechenden Antrieb fliessenden Strom I umsetzt. Da die Kapillare 1 durch den Ball an der Ausführung der Bewegung zunächst gehindert wird,

ändert sich die Ist-Position der Kapillare 1 nicht, so dass die Differenz zwischen der Soll-Position und der Ist-Position bestehen bleibt. Dies führt dazu, dass der Regler den Strom I kontinuierlich erhöht. Der Strom $I(t)$ wird laufend erfasst und als eine Reihe von m Stromwerten $I_1(t)$, $I_2(t+\Delta t)$, ..., $I_{m+1}(t+m\Delta t)$ gespeichert, wobei die Grösse Δt eine vorbestimmte Zeitdauer bezeichnet. Wenn der Stromwert I_{m+1} kleiner als der vorangegangene Stromwert I_m ist, bedeutet dies, dass sich die Kapillare 1 bewegen kann, weil sich der Ball nun vom Anschlusspunkt 4 des Halbleiterchips 5 löst, so dass die Differenz zwischen der Soll-Position und der Ist-Position kleiner wird. Es wird deshalb im Schritt B.d der Wert $I_{B,n,max}(F_{B,n}, P_{B,n}, G_{B,n}) = I_m$ gespeichert.

Gemäss der zweiten Methode wird der Wire Bonder angewiesen, den durch den Antrieb der Kapillare 1 fliessenden Strom I kontinuierlich zu erhöhen und gleichzeitig die Position des Horns bzw. der Kapillare 1 zu überwachen. Der Strom I wird also in Schritten ΔI laufend erhöht: $I_{m+1} = I_m + \Delta I$. Nach jeder Stromerhöhung wird die Position des Horns bzw. der Kapillare 1 überprüft. Sobald sich die Position um mehr als einen vorbestimmten Wert geändert hat, bedeutet dies, dass sich der Ball nun vom Anschlusspunkt 4 des Halbleiterchips 5 löst. Es wird deshalb im Schritt B.d der Wert $I_{B,n,max}(F_{B,n}, P_{B,n}, G_{B,n}) = I_m$ gespeichert.

Analog werden nach der Befestigung des Drahts 2 auf dem Anschlusspunkt 8 des Substrats 9, d.h. nach dem Schritt E und vor dem Schritt F, folgende Schritte durchgeführt:

- E.a) Anlegen einer vorbestimmten Bondkraft F_{W2} ,
- E.b) Bewegen der Kapillare 1 aus der Bondposition in eine vorbestimmte horizontale Richtung, wobei der durch den die Kapillare 1 bewegenden Antrieb fliessende Strom $I_{W,n}(t)$ überwacht wird,
- E.c) Stoppen der Bewegung der Kapillare 1, sobald der Strom $I_{W,n}(t)$ abnimmt,
- E.d) Bestimmen des Maximums des Stromes $I_{W,n,max}(F_{W,n}, P_{W,n}, G_{W,n})$ aus dem während der Schritte b) und c) ermittelten Verlauf des Stromes $I_{W,n}(t)$, wobei die Grössen $F_{W,n}$, $P_{W,n}$ und $G_{W,n}$ die beim Bondzyklus n eingestellten Werte der Bondkraft F_W , der Ultraschallgrösse P_W und, gegebenenfalls, des mindestens einen weiteren Bondparameters G_W sind,
- E.e) Bewegen der Kapillare 1 an die Bondposition,
- E.f) Befestigen des Drahts 2 auf dem Anschlusspunkt 8 des Substrats 9.

Die Fig. 3A bis 3D zeigen vier Momentaufnahmen, die das Wedge-Bonden betreffen. Die Fig. 3A zeigt die Situation während des Schrittes E, wenn der Draht 2 auf den Anschlusspunkt 8 des Substrats 9 gebondet wird. Das Bonden des Drahts 2 erfolgt mit den Parametern: Bondkraft $F_{W,n}$, Ultraschall $P_{W,n}$ und gegebenenfalls, des mindestens einen weiteren Bondparameters $G_{W,n}$.

Die Fig. 3B zeigt die Situation während des Schrittes E.b. Das nicht dargestellte Horn, an dessen Spitze die Kapillare 1 eingespannt ist, wird in einer horizontalen Richtung verschoben oder um eine vertikale

Achse gedreht. Gleichzeitig wird der Strom I überwacht, der durch den Antrieb fließt, der das Horn verschiebt bzw. dreht. Die Spitze der Kapillare 1 drückt dabei gegen den auf dem Anschlusspunkt 8 des Substrats 9 als Wedge 10 befestigten Draht 2, der die Kapillare 1 und somit auch das Horn an der Ausführung der gewünschten Bewegung hindert. Die von der Kapillare 1 auf den Wedge 10 in horizontaler Richtung ausgeübte Kraft nimmt kontinuierlich zu, bis sich der Wedge 10 schliesslich vom Anschlusspunkt 8 löst. Die Kapillare 1 kann nun der Bewegung des Horns folgen, so dass der durch den Antrieb fließende Strom schnell abfällt, worauf die Bewegung der Kapillare 1 im Schritt E.c sofort gestoppt wird. Diese Situation ist in der Fig. 3C gezeigt. Die Kapillare 1 wird später im Schritt E.e in die Bondposition zurückgebracht und im Schritt B.f wird der Wedge 10 nochmals auf dem Anschlusspunkt 8 des Substrats 9 befestigt.

Nach der Durchführung der n Bondzyklen werden aus den ermittelten Werten $I_{B,n,max}(F_{B,n}, P_n, G_n)$ diejenigen Werte der Bondkraft F_B , der Ultraschallgrösse P_B und des gegebenenfalls mindestens einen weiteren Bondparameters G_B als optimale Bondparameter für das Ball-Bonden bestimmt, für die der Strom $I_{B,n,max}(F_{B,n}, P_n, G_n)$ ein Maximum erreicht. Ebenso werden aus den ermittelten Werten $I_{W,n,max}(F_{W,n}, P_{W,n}, G_{W,n})$ diejenigen Werte der Bondkraft F_W , der Ultraschallgrösse P_W und des gegebenenfalls mindestens einen weiteren Bondparameters G_W als optimale Bondparameter für das Wedge-Bonden bestimmt, für die der Strom $I_{W,n,max}(F_{W,n}, P_{W,n}, G_{W,n})$ ein Maximum erreicht.

Die Spitze der Kapillare 1 wird während der Schritte B.b bzw. E.b nur wenige Mikrometer, beispielsweise 5 bis 10 Mikrometer, bewegt. Diese Bewegung reicht aus, dass sich der Ball bzw. Wedge löst. Es ist deshalb vorzugsweise vorgesehen, den Schertest abubrechen, wenn sich die Spitze der Kapillare 1 um mehr als eine vorbestimmte Distanz bewegt hat, ohne dass der durch den Antrieb fließende Strom abgenommen hat.

Die Schritte B.e und B.f sowie E.e und E.f dienen dazu, den losgelösten Ball bzw. Wedge wieder am entsprechenden Anschlusspunkt zu befestigen, damit die nachfolgenden Bondzyklen ohne Störung durchgeführt werden können. Die Schritte B.e und E.e können allenfalls entfallen.

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren für die Bestimmung optimaler Bondparameter für eine Bondkraft F_B und eine Ultraschallgrösse P_B und, fakultativ, mindestens einen weiteren Bondparameter G_B eines Wire Bonders für einen Bondprozess, wobei für diese Bestimmung eine Anzahl Bondzyklen durchgeführt werden, wobei bei jedem Bondzyklus eine Drahtverbindung zwischen einem Anschlusspunkt (4) eines Halbleiterchips (5) und einem Anschlusspunkt (8) eines Substrats (9) hergestellt wird, indem ein aus einer Kapillare (1) ragendes Drahtende zu einer Kugel (3) geschmolzen und anschliessend die Drahtkugel (3) in einer Bondposition auf dem Anschlusspunkt (4) des Halbleiterchips (5) befestigt wird, dann der Draht (2) auf die benötigte Drahtlänge durchgezogen, zu einer Drahtbrücke geformt und auf dem Anschlusspunkt (8) des Substrats (9) befestigt wird, und wobei die Bondkraft F_B , die Ultraschallgrösse P_B und, gegebenenfalls, der mindestens eine weitere Bondparameter G_B in je einem vorbestimmten Bereich in diskreten Schritten variiert werden, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei jedem Bondzyklus n nach der Befestigung der Drahtkugel (3) auf dem Anschlusspunkt (4) des Halbleiterchips (5) folgende Schritte durchgeführt werden:

- a) Anlegen einer vorbestimmten Bondkraft F_{B1} ,
- b) Bewegen der Kapillare (1) aus der Bondposition in einer vorbestimmten Richtung, wobei der durch den die Kapillare (1) bewegenden Antrieb fliessende Strom $I_n(t)$ im Verlauf der Zeit t überwacht wird,
- c) Stoppen der Bewegung der Kapillare (1), sobald der Strom $I_n(t)$ abnimmt,
- d) Bestimmen des Maximums des Stromes $I_{n,max}(F_{B,n}, P_{B,n}, G_{B,n})$ aus dem während der Schritte b) und c) ermittelten Verlauf des Stromes $I_n(t)$, wobei die Grössen $F_{B,n}$, $P_{B,n}$ und $G_{B,n}$ die beim Bondzyklus n eingestellten Werte der Bondkraft F_B , der Ultraschallgrösse P_B und, gegebenenfalls, des mindestens einen weiteren Bondparameters G_B sind,

und dass aus den bei den n Bondvorgängen ermittelten Werten $I_{n,max}(F_{B,n}, P_{B,n}, G_{B,n})$ diejenigen Werte der Bondkraft F_B , der Ultraschallgrösse P_B und des gegebenenfalls mindestens einen weiteren Bondparameters G_B als optimale Bondparameter bestimmt werden, für die der Strom $I_{n,max}(F_{B,n}, P_{B,n}, G_{B,n})$ ein Maximum erreicht.

2. Verfahren für die Bestimmung optimaler Bondparameter für eine Bondkraft F_W und eine Ultraschallgrösse P_W und, fakultativ, mindestens einen weiteren Bondparameter G_W eines Wire Bonders für einen Bondprozess, wobei für diese Bestimmung eine Anzahl Bondzyklen durchgeführt werden, wobei bei jedem Bondzyklus eine Drahtverbindung zwischen einem Anschlusspunkt (4) eines Halbleiterchips (5) und einem Anschlusspunkt (8) eines Substrats (9) hergestellt wird, indem ein aus einer Kapillare (1) ragendes Drahtende zu einer Kugel (3) geschmolzen und anschliessend die Drahtkugel (3) in einer Bondposition auf dem Anschlusspunkt (4) des Halbleiterchips (5) befestigt wird, dann der Draht (2) auf die benötigte Drahtlänge durchgezogen, zu einer Drahtbrücke geformt und auf dem Anschlusspunkt (8)

des Substrats (9) befestigt wird, und wobei die Bondkraft F_W , die Ultraschallgrösse P_W und, gegebenenfalls, der mindestens eine weitere Bondparameter G_W in je einem vorbestimmten Bereich in diskreten Schritten variiert werden, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei jedem Bondzyklus n nach der Befestigung des Drahtes (2) auf dem Anschlusspunkt (8) des Substrats (9) folgende Schritte durchgeführt werden:

- a) Anlegen einer vorbestimmten Bondkraft F_{W1} ,
- b) Bewegen der Kapillare (1) aus der Bondposition in einer vorbestimmten Richtung, wobei der durch den die Kapillare (1) bewegenden Antrieb fließende Strom $I_n(t)$ im Verlauf der Zeit t überwacht wird,
- c) Stoppen der Bewegung der Kapillare (1), sobald der Strom $I_n(t)$ abnimmt,
- d) Bestimmen des Maximums des Stromes $I_{n,max}(F_{W,n}, P_{W,n}, G_{W,n})$ aus dem während der Schritte b) und c) ermittelten Verlauf des Stromes $I_n(t)$, wobei die Grössen $F_{W,n}$, $P_{W,n}$ und $G_{W,n}$ die beim Bondzyklus n eingestellten Werte der Bondkraft F_W , der Ultraschallgrösse P_W und, gegebenenfalls, des mindestens einen weiteren Bondparameters G_W sind,

und dass aus den bei den n Bondvorgängen ermittelten Werten $I_{n,max}(F_{W,n}, P_{W,n}, G_{W,n})$ diejenigen Werte der Bondkraft F_W , der Ultraschallgrösse P_W und des gegebenenfalls mindestens einen weiteren Bondparameters G_W als optimale Bondparameter bestimmt werden, für die der Strom $I_{n,max}(F_{W,n}, P_{W,n}, G_{W,n})$ ein Maximum erreicht.

3. Verfahren für die in situ Überwachung der Qualität von Bondverbindungen, die mittels einer einen Draht führenden Kapillare eines Wire Bonders mit vorgegebenen Werten F_1 , P_1 , G_1 einer Bondkraft F , einer Ultraschallgrösse P und mindestens eines weiteren Bondparameters G hergestellt werden, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine zu prüfende, ausgewählte Bondverbindung wie folgt hergestellt wird:

- Herstellung einer Bondverbindung mit vorgegebenen Werten F_2 , P_2 , G_2 der Bondkraft F , der Ultraschallgrösse P_1 und des mindestens einen weiteren Bondparameters G , wobei mindestens einer der Werte F_2 , P_2 , G_2 kleiner ist als der entsprechende Wert F_1 , P_1 , G_1 ;
- Durchführung eines Tests gemäss den folgenden Schritten:
 - a) Anlegen einer vorbestimmten Bondkraft F_3 ,
 - b) Bewegen der Kapillare (1) aus der Bondposition in eine vorbestimmten Richtung, wobei der durch den die Kapillare (1) bewegenden Antrieb fließende Strom $I_n(t)$ im Verlauf der Zeit t überwacht wird,
 - c) Stoppen der Bewegung der Kapillare (1), sobald der Strom $I(t)$ abnimmt,
 - d) Bestimmen des Maximums des Stroms $I_{max}(F_3, P_3, G_3)$ aus dem während der Schritte b) und c) ermittelten Verlauf des Stroms $I(t)$;
 und
- Herstellung der Bondverbindung mit den Werten F_1 , P_1 , G_1 .

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Wert P_2 kleiner als der Wert P_1 ist.

ZUSAMMENFASSUNG

Optimale Bondparameter für eine Bondkraft F_B und eine Ultraschallgrösse P_B und, fakultativ, mindestens einen weiteren Bondparameter G_B eines Wire Bonders für das Ball-bonden lassen sich ermitteln mittels eines Verfahrens, bei dem eine vorbestimmte Anzahl Bondzyklen durchgeführt wird, wobei die zu optimierenden Bondparameter in je einem vorbestimmten Bereich variiert werden, wobei bei jedem Bondzyklus n nach der Befestigung der Drahtkugel auf dem Anschlusspunkt (4) des Halbleiterchips (5) folgende Schritte durchgeführt werden:

- a) Anlegen einer vorbestimmten Bondkraft F_{B1} ,
- b) Bewegen der Kapillare (1) aus der Bondposition in eine vorbestimmte horizontale Richtung, wobei der durch den die Kapillare (1) bewegendenden Antrieb fliessende Strom $I_{B,n}$ überwacht wird,
- c) Stoppen der Bewegung der Kapillare (1), sobald der Strom $I_{B,n}$ abnimmt,
- d) Bestimmen des Maximums des Stromes $I_{B,n,max}$ ($F_{B,n}$, $P_{B,n}$, $G_{B,n}$) aus dem während der Schritte b) und c) ermittelten Verlauf des Stromes $I_{B,n}(t)$,
- e) Bewegen der Kapillare (1) an die Bondposition,
- f) Befestigen der Drahtkugel auf dem Anschlusspunkt (4) des Halbleiterchips (5),

und wobei aus den bei den n Bondzyklen ermittelten Werten $I_{B,n,max}$ ($F_{B,n}$, $P_{B,n}$, $G_{B,n}$) diejenigen Werte der Bondkraft F_B , der Ultraschallgrösse P_B und des gegebenenfalls mindestens einen weiteren Bondparameters G_B als optimale Bondparameter bestimmt werden, für die der Strom $I_{B,n,max}$ ($F_{B,n}$, $P_{B,n}$, $G_{B,n}$) ein Maximum erreicht.

Fig. 1A

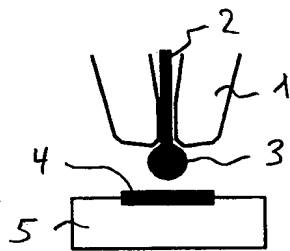


Fig. 1B

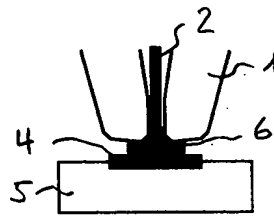


Fig. 1C

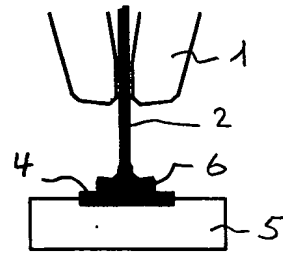


Fig. 1E

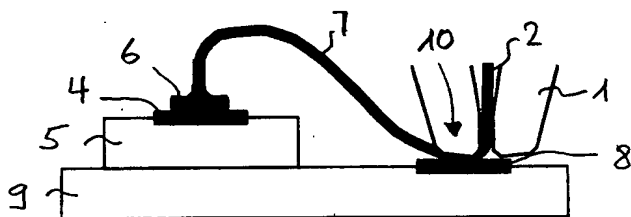


Fig. 1F

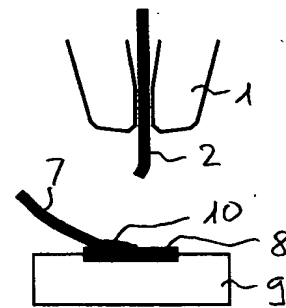


Fig. 2A

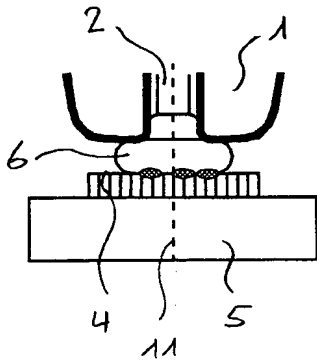


Fig. 2B

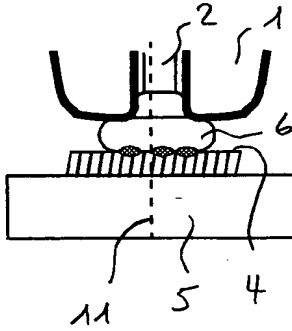


Fig. 2C

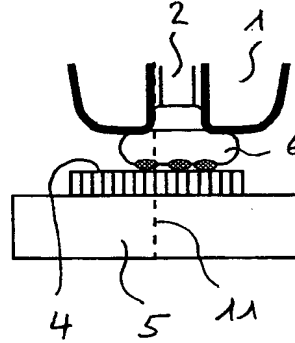


Fig. 2D

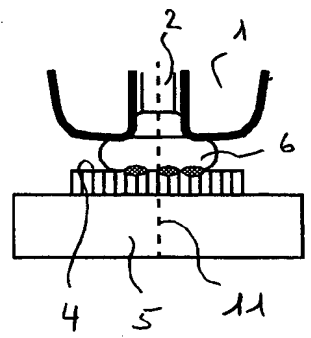


Fig. 3A

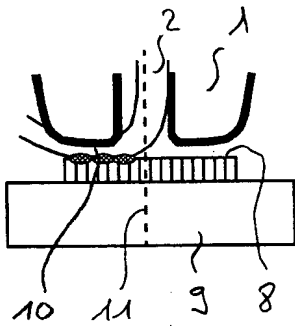


Fig. 3B

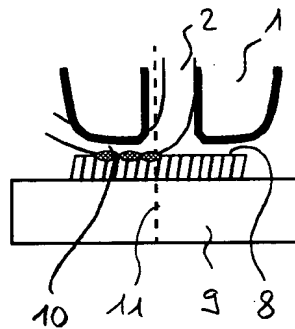


Fig. 3C

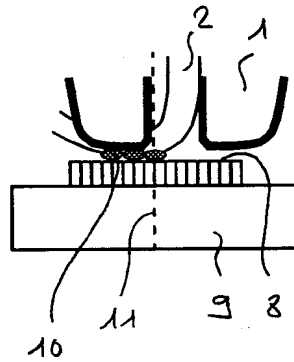


Fig. 3D

